中国荒漠生态系统定位研究网络的建设与发展

卢 琦[1,2*] 李永华[1,2] 崔向慧[1] 杨自辉[3,4] 马全林[3,4] 辛智鸣[2] 罗凤敏[2] 郝玉光[2]

1 中国林业科学研究院荒漠化研究所 北京 100091
2 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心 巴彦淖尔 015200
3 甘肃省治沙研究所 兰州 730070
4 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站 武威 733300

摘要 20多年来，中国荒漠生态系统定位研究网络已建成国家级和局级生态站26个，布局涵盖我国八大沙漠、四大沙地、青藏高原高寒区和西南岩溶地区等特殊环境，承担我国荒漠生态系统的定位观测、监测评估、科学研究、示范服务和基地建设等任务。依托研究网络，组织大型沙漠、戈壁综合科考，填补我国沙漠科考的最后空白；探索荒漠化综合治理的中国方案，集成四大典型区域的经典模式，制定相关行业和学科标准。进入新时代，研究网络要立足行业优势，加强联网-并网协作，优化站网布局，精进观测技术，拓展研究尺度，面向国家重大战略需求、服务区域社会经济发展、回答社会和科学关切，为实现联合国2030年可持续发展目标提供全方位科技支撑。

关键词 荒漠生态系统，野外站，科学观测，研究网络，未来发展

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20200525001

1 中国荒漠生态系统定位研究网络的发展历程及布局

中国荒漠生态系统定位研究网络（CDERN，以下简称“荒漠生态网”）始建于1998年，为国家林业和草原局陆地生态系统野外观测研究与管理中心管辖。经过20多年的建设与发展，目前由47个野外站（点）组成（其中科学技术部批复建设站点1个、国家林业和草原局批复建设站点25个、高校和科研单位自建站点21个）。2012年，荒漠生态网与中国科学

* 通讯作者
资助项目：“十三五”国家重点研发计划（2017YFC0503804），科学技术部科技基础资源调查专项（2017FY1002），中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目（CAFYBB2018ZE002）
修改稿收到日期：2020年5月26日

院的中国生态系统研究网络（CERN）及其他相关部门的荒漠草地类型生态站共同组成“荒漠-草地野外站联盟”（以下简称“荒-草联盟”），发挥各自的平台资源优势，实现荒-草联盟框架内的科技资源共建共享，优势互补，共同拓展发展空间，提高荒漠生态系统研究的创新能力和服务国家生态建设的技术支撑能力。荒-草联盟常年开展工作的区域范围包括我国北方风沙-荒漠区（含盐碱、冻融类型）、黄土高原、西南岩溶与干旱河谷、东南红壤水土流失及典型岸线（河岸、湖岸、海岸）沙地，实现了我国陆地沙漠、砾漠（戈壁）、石漠、土漠、寒漠等重要荒漠类型的全覆盖。

1.1 发展历程

20 世纪 50 年代，在我国防沙治沙及沙漠科学研究的起步阶段，第一代从事沙漠研究的科研工作者分别在宁夏沙坡头、甘肃民勤、辽宁章古台、内蒙古磴口、陕西榆林、宁夏灵武、新疆托克逊、青海沙珠玉、青海格尔木等地建立了治沙综合试验站或中心站。同时期，新中国首批治沙队伍（包括沙漠考察队）、治沙研究所、防风治沙林场相继成立，如中国科学院治沙队、中国科学院地理研究所沙漠研究室、青海沙珠玉防风治沙林场等[1,2]。

1978 年，当时的林业部组织编制了《全国森林生态站发展规划草案》。随后，在林业生态工程区、荒漠化地区等典型区域陆续布局建立了多个生态站。1992 年林业部修订了规划草案，成立了生态站工作专家组，初步提出了生态站联网观测的构想，为建立生态站网奠定了基础。2006 年，国家林业局发布《国家林业科技创新体系建设规划纲要（2006—2020 年）》[3]，明确提出“根据林业科学实验、野外试验和观测研究的需要，新建一批森林、湿地、荒漠野外科学观测研究台站，初步形成覆盖主要生态区域的科学观测研究网络”。2007 年，国家林业局正式成立“陆地生态系统野外观测研究与管理中心”，设立森林、湿地、荒漠 3 个生态系统定位研究网络分中心。甘肃民勤站、宁夏盐池站、青海共和站、云南元谋站 4 个荒漠站成为首批加入荒漠生态网的生态站。2008 年，国家林业局发布《国家陆地生态系统定位观测研究网络中长期发展规划（2008—2020 年）》，中国荒漠生态系统定位研究进入快速发展阶段。截至 2019 年 12 月，以国内林业高校、科研院所和规划设计机构等为技术支撑，以自然保护地、沙漠公园、治沙林场等为总部基地的荒漠生态网框架基本形成。

1.2 网络设计与布局

我国旱区面积约 4 520 000 km^2，占国土面积 47.08%；西南岩溶石漠化区石漠化面积 120 020 km^2，涉及 8 个省（自治区、直辖市）的 455 个县，占国土面积的 11.2%。按照“三北”防护林体系建设、京津风沙源治理、石漠化治理等国家重大生态工程的宏观需求，兼顾国家生态工程效益评估的需要，荒漠生态网布局基本涵盖我国八大沙漠、四大沙地，并统筹考虑我国青藏高原高寒区及我国西南、东南地区等特殊区域环境，分别在极端干旱区、干旱区、半干旱区、亚湿润干旱区、青藏高原高寒区和特殊环境区域（包括岩溶石漠化、干热河谷和零星沙地）等六大类型区构建生态站网络[4]。

目前，荒漠生态网已建成国家和局级生态站 26 个（表 1），分布在极干旱区 3 个、干旱区 6 个、半干旱区 4 个、亚湿润干旱区 4 个、青藏高原高寒区 2 个，同时在干热河谷、岩溶石漠化、岸线沙地（河、湖、海、盐碱）、红壤丘陵重点侵蚀区等特殊环境区域布局生态站 7 个（图 1）。

2 中国荒漠生态系统定位研究网络的主要任务

2.1 监测评估

（1）*构建荒漠生态系统信息平台。*包括荒漠生态系统联网监测平台、大数据平台、荒漠区生态质量状况监测数据共享管理平台和中国荒漠生态区服务功能

表 1 中国荒漠生态系统定位研究网络 26 个荒漠观测研究站

分区	生态站名称	简称	建站单位	归口管理部门
极端干旱区（3）	库姆塔格荒漠生态系统国家定位观测研究站	库姆塔格站	中国林业科学研究院荒漠化研究所	中国林业科学研究院
	甘肃敦煌荒漠生态系统国家定位观测研究站	敦煌站	中国林业科学研究院荒漠化研究所	中国林业科学研究院
	新疆尉犁荒漠生态系统国家定位观测研究站	尉犁站	新疆建设生产兵团林业科学技术研究院	新疆生产建设兵团林业局
干旱区（6）	甘肃民勤荒漠生态系统国家定位观测研究站	民勤站	中国林业科学研究院/甘肃省治沙研究所	中国林业科学研究院/甘肃省林业和草原局
	甘肃临泽荒漠生态系统国家定位观测研究站	临泽站	甘肃省治沙研究所	甘肃省林业和草原局
	内蒙古巴丹吉林荒漠生态系统国家定位观测研究站	巴丹吉林站	中国科学院西北生态环境资源研究院	内蒙古林业和草原局
	内蒙古吉兰泰荒漠生态系统国家定位观测研究站	吉兰泰站	阿拉善盟林业治沙研究所	内蒙古林业和草原局
	内蒙古磴口荒漠生态系统国家定位观测研究站	磴口站	中国林业科学研究院/沙林中心	中国林业科学研究院
	内蒙古杭锦荒漠生态系统国家定位观测研究站	杭锦站	内蒙古农业大学	内蒙古林业和草原局
半干旱区（7）	陕西榆林毛乌素沙地生态系统国家定位观测研究站	榆林站	陕西省治沙研究所/陕西省林业科学院	陕西省林业局
	宁夏盐池毛乌素沙地生态系统国家定位观测研究站	盐池站	北京林业大学	北京林业大学
	内蒙古达拉特荒漠生态系统国家定位观测研究站	达拉特站	内蒙古自治区林业科学研究院	内蒙古林业和草原局
	内蒙古多伦浑善达克沙地生态系统国家定位观测研究站	多伦站	内蒙古自治区林业科学研究院	内蒙古林业和草原局
	辽宁章古台科尔沁沙地生态系统国家定位观测研究站	章古台站	辽宁省沙地治理与利用研究所/辽宁省农科院	辽宁省林业和草原局
	内蒙古呼伦贝尔沙地生态系统国家定位观测研究站	呼伦贝尔站	呼伦贝尔市林业科学研究所	内蒙古林业和草原局
	新疆精河荒漠生态系统国家定位观测研究站	精河站	新疆林业科学院	新疆林业和草原局
亚湿润干旱区（1）	河北丰宁沙地生态系统国家定位观测研究站	丰宁站	河北省农林科学院	河北省林业和草原局
青藏高原高寒区（2）	青海共和荒漠生态系统国家定位观测研究站	共和站	中国林业科学研究院荒漠化研究所	中国林业科学研究院
	青海贵南荒漠生态系统国家定位观测研究站	贵南站	青海大学	青海省林业和草原局
其他特殊环境区（7）	贵州黎平石漠生态系统国家定位观测研究站	黎平站	贵州省林业科学院	贵州省林业局
	贵州普定石漠生态系统国家定位观测研究站	普定站	中国林业科学研究院亚热带林业研究所	中国林业科学研究院
	云南建水荒漠生态系统国家定位观测研究站	建水站	北京林业大学	云南省林业和草原局
	云南广南石漠生态系统国家定位观测研究站	广南站	云南省林业和草原科学院	云南省林业和草原局
	云南元谋干热河谷生态系统国家定位观测研究站	元谋站	中国林业科学研究院资源昆虫研究所	中国林业科学研究院
	福建长汀红壤丘陵生态系统国家定位观测研究站	长汀站	福建农林大学	福建省林业局
	河南原阳黄河故道沙地生态系统国家定位观测研究站	原阳站	河南省林业科学研究院	河南省林业局



图 1　中国荒漠生态系统定位研究网络（CDERN）台站分布图

公报平台。

（2）服务国家重要生态工程的监测与评估。例如：“三北”防护林体系建设工程、沙化土地封禁保护工程、退耕还林（还草）工程、京津风沙源治理工程、石漠化治理工程等。

（3）研制观测设备，设立观测样地、创新技术方法。研制了 0—50 m 垂直梯度、10 km 水平梯度沙尘观测系统[5]，并已在民勤站、库姆塔格站、磴口站和盐池站等多个野外站推广应用；2006 年，与中国林业科学研究院资源信息所合作在磴口县南梁台设立首个 1 km^2 大样地，2013 年与中国科学院植物研究所合作在锡林郭勒盟正蓝旗桑根达来设立榆树稀树草原 1 km^2 大样地，随后在磴口、民勤、敦煌和库姆塔格沙漠等地设立多个 ≥1 km^2 的大样地多块[6]，东西样带超过 1 500 km、跨境样带超过 2 000 km。

（4）组织网络内多站同步进行野外开放式大型增雨试验。自 2008 年开始分别在 3 个降雨梯度的库姆塔格站、民勤站和磴口站同步开展增雨试验[7]。

2.2 科学研究

（1）深入开展荒漠生态学研究，为解决国家急需的关键生态学问题提供支撑。深入开展荒漠生态系统结构、功能、格局等长期变化规律及其互作机理的生态学基础研究，揭示荒漠化、石漠化、草地退化和水土流失的发生和发展过程及其驱动与调控机制，支持生态学基础研究和国家重大生态工程建设，解决一批国家急需的生态建设、环境保护、可持续发展等方面的关键生态学问题，推动我国生态与资源环境科学的发展。开展荒漠化、水土流失等退化生态系统综合治理技术研发，探索不同区域、不同驱动因素下退化生态系统的保护、修复模式，并在极干旱区、干旱区、半干旱区、亚湿润干旱区和青藏高原高寒区开展示范、应用推广。编辑出版了首部《荒漠生态学》研究生教材[8]。

（2）提供生态环境科技重大发展战略与政策的决策咨询，为国际履约、国家生态建设和社会可持续发展提供数据与技术支撑。在京津风沙源工程评估、“三北”防护林工程总体规划修编、新疆生产建设兵团农垦生态成效评估、北方草原防风固沙和水源涵养服务评估、大敦煌生态保护与区域发展战略研究、生物碳汇扩增战略研究、新时期国家生态保护与建设研究、科尔沁沙地全域治理战略研究、适应水土资源条件的区域林草布局策略等一系列战略咨询和工程规划中作出了重要贡献。

（3）开展荒漠植物收集、保存与整理，完成沙漠科考等工作。编辑出版了《荒漠植物图鉴》[9]，完成了沙漠（含沙地和戈壁）综合科学考察和荒漠生态系统功能与服务评估工作，出版了《荒漠生态系统功能评估与服务价值研究》[10]。

2.3 人才培养与科普基地

以荒漠生态网为支撑，建成我国荒漠生态系统长期科学研究基地、人才培养和教学基地、试验示范基地和公众科普教育基地。服务高校、科研院所本科生、研究生野外实践；面向社会各界、各类人群，宣传普及生态环境保护、修复相关知识；为国内外相关科学研究、学术交流、技术培训提供样地、数据和设施等共享平台；展示、推广生态系统保护与修复的新

品种、新技术和新模式。

3 主要科学进展

（1）开展沙漠、戈壁综合科学考察，填补了我国沙漠科考的最后空白。在科学技术部科技基础性工作专项、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项等计划支持下，荒漠生态网先后开展了库姆塔格沙漠综合科学考察、戈壁综合科学考察、库木库里沙山综合考察、沙地综合考察与编目等，基本摸清了我国的沙情，填补了沙漠和戈壁科考的空白区。产出了一批专著和图集等代表性成果，如《库姆塔格沙漠研究》《库姆塔格沙漠风沙地貌》《中国黑戈壁研究》《库姆塔格沙漠综合自然地理图集》《库姆塔格沙漠地貌图》和《中国戈壁分布图》等[11-16]。

（2）研究沙漠化发生、发展规律，探索综合治理中国方案。完成了中国荒漠化生物-气候分区，并在国家尺度上建立了适用于大范围荒漠化监测与荒漠化评价指标体系框架，为全国荒漠化监测提供了理论与方法；依据《联合国防治荒漠化公约》标准，编绘出《中国荒漠化气候分区图》，明确界定了中国荒漠化的潜在发生范围[17]。

（3）集成我国四大典型区域的荒漠化综合治理模式[18,19]，创新性提出了极端干旱沙漠绿洲生态经济型防护体系模式、干旱区次生盐渍化土地防治模式。联合中国科学院进行半干旱农牧交错区荒漠化防治“三圈”模式，以及青藏高原高寒草原沙化防治模式的创建和示范；在干旱区水土资源优化配置、抗逆性植物种质材料选育、盐渍化土地“三系统”治理、造林密度控制等关键科学问题和技术瓶颈等方面进行长期探索并实现了突破，荣获国家科技进步奖一等奖和二等奖、国家国际科技合作奖及省部级科技奖励奖一等奖10多项。

（4）行业标准研究和建立的科技支撑[20]。2008年“全国防沙治沙标准化技术委员会”成立，荒漠生态网先后牵头编制20多项国家和行业标准，组织审定50多项各类标准，初步建立起一套覆盖全、质量高、宜应用的标准序列，构建了基础术语、观测评价、治理修复、开发利用等多维度标准化体系框架；低覆盖度治沙技术解决了长期困惑干旱区造林密度的难题，以此成果为依托，修改完成了新版《造林技术规程》国家标准（GB/T 15776-2016）；积极推进国际标准化组织（ISO）荒漠化防治标准化技术委员会的设立事宜，积极向国际推介4项行业标准，落实“标准走出去”战略，增强我国在该领域国际社会的话语权和主导地位。

4 未来发展

通过创新驱动、资源整合、以用促建，荒漠生态网将进一步优化结构、科学布局、统一标准、规范运行。到2030年，规划建成包括100个左右的生态站（点）、涵盖多种景观类型（如石漠、砾漠、沙漠、泥漠、盐漠、寒漠等）的荒漠生态系统监测、共享、服务公共平台。面临新时代发展机遇，荒漠生态网的发展面临转型，未来将加强与各部门的联合共建，共享科技资源，协同创新，再上新台阶。

（1）提升野外观测技术，扩大观测试验范围。发展宏观“地面、无人机、卫星遥感”天-空-地立体观测，微观“动物、微生物甚至病毒、支原体等生物观测”分子测序，精准“基因-细胞水平、初级生产者、顶级群落、旗舰物种的全食物链”示踪技术，提升野外观测能力，提高观测精度；拓展调查样地和样带，从普通样地拓展到大样地（1 km^2）、超级大样地（10 km^2）和超长大样带（1 000—2 000 km^2）。

（2）优化荒漠生态网的布局，拓展野外站的研究尺度。研究对象的尺度转换与扩大，从站点、基地（如保护地、荒野、林场）、局地、生物气候区，从流域、自然区域、经济区域充分研究，在问题导向下进行网络顶层设计，补充建设，完善网络。

（3）面向国家和地方重大需求，发挥行业优势，联合中国科学院开展全面科技合作。以“野外站联盟”为纽带，发挥国家林业和草原局生态站“地域性广、面向实际问题”、中国科学院“综合性强、面向科学前沿”各自的平台资源优势，在加强院局联合的基础上，注重林-草、沙-草、林-草-沙融合的有机联系，加强互作机理和机制的研究；建立合作长效机制，共同为国家或行业需求发挥野外站的独特作用。

参考文献

1 王涛, 赵哈林. 中国沙漠科学的五十年. 中国沙漠, 2005, 25(2): 145-165.

2 包岩峰, 杨柳, 龙超, 等. 中国防沙治沙60年回顾与展望. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 144-150.

3 国家林业和草原局. 国家林业科技创新体系建设规划纲要（2006—2020年）. [2006-09-12]. http://www.forestry.gov.cn/main/4818/content-796814.html.

4 国家林业局. 国家林业局陆地生态系统定位观测研究网络中长期发展规划（2008—2020年）. [2009-05-21]. https://www.doc88.com/p-5691012542911.html.

5 赵明, 詹科杰, 杨自辉, 等. 民勤沙漠-绿洲低空沙尘暴结构特征研究. 中国科学：地球科学, 2011, 41(2): 234-242.

6 Wang H Z, Han D, Mu Y, et al. Landscape-level vegetation classification and fractional woody and herbaceous vegetation cover estimation over the dryland ecosystems by unmanned aerial vehicle platform. Agricultural and Forest Meteorology, 2019, 278: 107665.

7 李永华. 白刺叶片性状对人工增水的响应. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.

8 卢琦, 贾晓红. 荒漠生态学. 北京: 中国林业出版社, 2019.

9 卢琦, 王继和, 褚建民. 中国荒漠植物图鉴. 北京: 中国林业出版社, 2012.

10 荒漠生态系统服务功能监测与评估技术研究项目组. 荒漠生态系统功能评估与服务价值研究（第二版）. 北京: 科学出版社, 2017.

11 库姆塔格沙漠综合科学考察队. 库姆塔格沙漠研究. 北京: 科学出版社, 2012.

12 董治宝. 库姆塔格沙漠风沙地貌. 北京: 科学出版社, 2011.

13 中国黑戈壁地区生态本底科学考察队. 中国黑戈壁研究. 北京: 科学出版社, 2014.

14 冯益明, 卢琦. 中国戈壁分布图. 北京: 中国地图出版社, 2017.

15 库姆塔格沙漠综合科学考察队. 库姆塔格沙漠综合自然地理图集. 北京: 中国地图出版社, 2017.

16 董治宝, 屈建军. 库姆塔格沙漠地貌图. 北京: 科学出版社, 2009.

17 慈龙骏, 杨晓晖, 陈仲新. 未来气候变化对中国荒漠化的潜在影响. 地学前缘, 2002, 9(2): 44-51.

18 董战峰. 为全球荒漠化治理贡献中国智慧. [2017-09-06]. http://www.rmzxb.com.cn/c/2017-09-06/1771122.shtml.

19 国家林业和草原局. 中国获得2017年“政策界奥斯卡奖”：荒漠化治理引领全球. [2018-03-28]. http://www.forestry.gov.cn/zsb/989/20180328/1086820.html.

20 崔向慧, 卢琦. 中国荒漠化防治标准化发展现状与展望. 干旱区研究, 2012, 29(5): 913-919.

Establishment and Development of Long-term Desert Ecosystem Research Network in China

LU Qi[1,2*] LI Yonghua[1,2] CUI Xianghui[1] YANG Zihui[3,4] MA Quanlin[3,4] XIN Zhiming[2] LUO Fengmin[2] HAO Yuguang[2]

（1 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2 Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy Forestry, Bayannur 015200, China;

3 Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China;

4 National Field Scientific Observation and Research Station of Desertification Grassland Ecosystem in Minqin, Wuwei 733300, China）

Abstract Desert Ecosystem Research Network in China now is consist of 26 national ecological stations, the network layout covers the eight major deserts, the four major sandy lands, the alpine region of the Qinghai-Tibet Plateau, and the karst and other special environments, and undertakes the tasks of positioning observation, monitoring and evaluation, scientific research, demonstration services and base construction of desert ecosystems in China by more than 20 years' establishment. Relying on the network of ecological stations, large desert and Gobi comprehensive scientific investigations are organized to fill the final blank of desert scientific research in China; the Chinese scheme of comprehensive desertification control is explored, the classical models of the four typical regions are integrated, and industry and discipline standards are formulated. In the new era, the network of desert ecological stations should be based on the advantages of the industry, strengthen the network-connected cooperation, optimize the layout of the network, improve observation technology, expand the scale of research, face the major strategic needs of the country, serve regional social and economic development, answer social and scientific concerns, and provide all-round scientific and technological support for the achievement of the 2030 sustainable development goals.

Keywords desert ecosystem, long-term field stations, scientific observation, research network, future development



卢 琦 中国林业科学研究院荒漠化研究所所长、沙漠林业实验中心主任，研究员、博士生导师。长期从事荒漠化防治、干旱区生态系统管理及相关战略与政策等研究。主持科研课题50多项，发表论（译）文180余篇，主编或参编著（译）作20余部；获得国家级科技奖励4项、省部级科技奖励5项。牵头组织“库姆塔格沙漠综合科学考察”，填补了我国沙漠科考的最后空白。主要兼职：西南林业大学石漠化研究院院长、国家荒漠-草地野外生态观测研究站联盟共同主席，国家林业与草原局第六届科技委常委、第一届草原标准化技术委员会委员，全国防沙治沙标准化技术委员会秘书长等，《中国沙漠》《生态学报》《自然资源学报》《中国水土保持科学》《林业科学研究》和*Journal of Resources and Ecology*等编委。E-mail: luqi@caf.ac.cn

LU Qi Professor and Directors of both Institute of Desertification Studies and Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy of Forestry, Doctoral Supervisor. His research interests focus on desertification control, ecosystem management in arid zones, macro-strategies and policies. He has been leading and co-leading more than 50 scientific research projects, published more than 180

---

* Corresponding author

peer-reviewed papers, over 20 books, and received 4 national scientific and technological awards and 5 provincial and ministerial level awards. The first key project of the national basic work program, "Comprehensive Scientific Investigation of the Kumtag Desert", has filled the last blank of the desert scientific investigation in China. He used to serve as President of Rocky Desertification Research Institute under Southwest Forestry University, and now is a Co-Chair of the National Union of Deserts and Grassland Ecological Observation and Research Stations, member of the sixth CST Standing Committee of the National Forestry and Grassland Administration, member of the First Grassland Standardization Technical Committee, Secretary-General of the National Sand Control and Desertification Standardization Technical Committee, member of the Third Expert Committee of the National Disaster Reduction Commission, etc. and the editorial board of many journals such as *Journal of Desert Research*, *Acta Ecologica Sinica, Journal of Natural Resources*, *Science of Soil and Water Conservation*, *Forest Research* and *Journal of Resources and Ecology*.

E-mail: luqi@caf.ac.cn

附录1：甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站

甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站（以下简称“民勤站”）始建于1959年，地处河西走廊东段石羊河流域下游民勤绿洲，位于巴丹吉林和腾格里两大沙漠交汇地带（E102.98°，N38.57°），是我国最早开展荒漠生态环境和风沙输运规律监测的野外观测研究站，属于国家林业和草原局荒漠生态系统定位观测研究站。

2005年民勤站被科学技术部确定为国家野外科学观测研究站，是教育部、国家自然科学基金委员会“国家基础教育人才培养基地”、科学技术部和商务部“国际（荒漠化防治）治沙技术援外培训实习基地”、国家发展和改革委员会“国家空间基础设施陆地观测卫星真实性检验站”、国防科技工业局“高分辨率卫星对地观测系统国家真实性检验站”，国家林业和草原局“全国林业科普基地”“国家荒漠化、沙化土地监测和沙尘暴预警观测站”“全国物候观测网联网观测站”。

民勤站地理位置特殊，生态类型典型，观测、研究、试验示范与共享服务体系完善，是国内外荒漠化防治领域知名的野外研究支撑平台和国家科技创新基地。

1 观测研究任务及方向

民勤站立足干旱荒漠区，围绕国家和区域发展重大需求，以荒漠草地生态系统为对象，重点针对荒漠草地生态系统结构、功能、动态变化，及其对全球气候变化的响应和应对措施、干旱内陆河流域水土资源承载力与社会经济协调发展、生物多样性保护、沙尘天气发生发展过程，以及荒漠草地生态系统与下垫面耦合关系、荒漠化综合防治技术与模式等方面开展基础理论和应用技术研究，提升石羊河流域山水林田湖草复合生态系统综合治理能力，强化原创性重大科技成果产出，为我国西部生态安全屏障建设和内陆河流域生态、经济、社会可持续发展提供科技支撑。主要研究方向：

（1）荒漠区生物多样性保护与资源植物利用；

（2）荒漠草地生态系统结构、功能与过程；

（3）近地面沙尘暴发生发展过程、机制与防治；

（4）荒漠化综合防治技术与模式；

（5）石羊河流域生态水文、水土资源承载力及社会经济协调发展；

（6）石羊河流域生态安全监测、评估与预警。

2 研究成果与科学贡献

民勤站坚持以标准化长期定位观测研究为基础，积累了近 60 年长期、连续的荒漠定位观测数据，在防沙治沙、荒漠生态环境演变、生态脆弱区域生态系统功能恢复重建、沙区水土及植物资源保护与合理利用、近地面沙尘运动规律等方面开展了系统性研究，取得一批科技成果，为河西地区生态环境建设和社会经济可持续发展，以及西部生态安全等提供了理论和技术支撑。获国家级奖励 2 项，省部级奖励 44 项，发表学术论文 2 000 余篇，出版专著 22 部，授权专利 159 项。

*（1）创建近地面 0—50 m 沙尘暴观测系统。*① 该系统利用自主研制的风向跟踪滤袋式沙尘水平通量仪等 6 种仪器设备，配置在水平 8.3 km、垂直 50 m 的尺度范围内，可对民勤县荒漠、荒漠-绿洲过渡带、绿洲 3 种典型下垫面沙尘暴输运规律、微地貌风沙流输运特征和植被类型进行监测。通过近 20 年沙尘暴、风沙流的观测应用，在结构、性能、操作性等方面不断改进和完善，补充了我国沙尘天气野外监测技术与方法。② 实现沙尘水平通量、垂直降尘量、气溶胶浓度、风沙流流量和风速风向等要素的量化监测，为定量研究沙尘暴、认识沙尘暴的运动变化规律奠定了基础。③ 揭示了沙尘暴的空间结构与时空变化规律，建立了沙尘输运规律与气象、土壤、植被等因子之间的关系，为绿洲边缘防护体系建设提供重要的科学依据。④ 观测研究表明，民勤县防护林体系可减少沙尘水平通量 76%，量化了防风固沙林和农田防护林对沙尘暴的消减效能，为沙尘暴人工防护提供了依据。

*（2）荒漠绿洲生态系统结构、功能及其过程变化研究揭示了人为因素和气候变化对植被的影响。*① 阐明了人为因素在民勤县荒漠化发展过程中的主导地位，研究了民勤县生态环境退化与地下水位变化的相关性。② 发现民勤县地下水位下降、土壤旱化和梭梭造林密度过大是人工梭梭衰退死亡的主要因素。③ 通过对民勤县 89 种典型荒漠植物 46 年来的物候观测研究，分析得出气温升高，植物物候期提前、物候持续日数增长的规律，阐明荒漠植物物候对全球气候变化的响应；提出民勤荒漠区以物候划分四季的新思路。

*（3）研发推广防沙治沙技术与模式。*① 发明黏土沙障，结合草方格沙障，研究配套组装机械沙障固沙和植物固沙造林技术，建立了“民勤宋河”“流沙改造”“四带一体”等优化防治模式。② 提出调整产业结构、提高低耗水作物种植比例、推广全膜覆盖栽培等技术，研究合理轮作、小规模养殖、发展节水农业、造林-封育-适度放牧综合治沙技术体系。③ 建站 60 年来，通过示范、培训、宣传等形式，在防沙治沙、防护林建设、生物多样性保护、流域生态系统恢复等领域积极为政府和社会提供技术咨询服务，培训各类人员近 15 万人次，发放宣传材料 30 多万份，推广固沙造林技术示范样板面积达 5 200 km^2，有力支撑了区域荒漠化防治、生态建设和社会经济发展。

3 人才培养与队伍建设

民勤站现有固定人员 28 名，其中享受国务院特殊津贴专家 4 名，国家百千万人才 1 名，甘肃省优秀专家 1 名，甘肃省领军人才 10 名。依托中国科学院西北生态环境资源研究院、中国林业科学研究院、兰州大学、甘肃农业大学、西北师范大学等单位签署共建民勤站和联合培养研究生的协议，已培养研究生 41 人，其中博士 11 人，硕士 30 人。

4 科研能力与技术平台

民勤站占地面积 12 km^2，永久性固定观测样地 38 块，地面气象观测场 7 座，50 m 低空观测平台 6 座，形成了以地面监测、50 m 低空平台监测和高空遥感监测为一体的立体监测网络，积累了大量长期

连续、定位观测数据。

建有科技成果展览室、动植物标本馆、种子库、样品室、中心实验室等，拥有价值4 000多万元各类仪器315台（套）；建有1 500 m^2科研办公楼，内设有会议室、数据室、资料室、活动室等；建有职工食堂和学生专用食堂、招待室、车库等，可同时满足200人用餐和住宿。

5 开放与交流

积极开展荒漠化防治国际科技合作交流。自1993年以来，承办商务部、科学技术部主办的防沙治沙、荒漠化防治、退化生态恢复及其治理技术援外培训班40多期，累计培养各类专员、学者1 000余人，推动了荒漠化防治技术国际化，在强化“一带一路”沿线国家荒漠化防治领域合作研究中发挥了重要的作用，为世界荒漠化防治事业作出了应有的贡献。

开展与科研院所、高等院校的合作，完成国家重大与重点科研项目10余项，国家自然科学基金项目20余项。通过数据共享平台或离线每年向国家生态数据中心提交、发布数据近19万个，为相关科研人员及来站开展科研工作的硕博士研究生提供基础观测数据500多万个。作为全国林业科普基地、教育部和国家自然科学基金委员会基础教育人才培养基地，每年有2 000余名高校师生来站开展教学实习、社会实践、科普教育和生态夏令营等活动。

附录2：库姆塔格荒漠生态系统定位观测研究站

在2004—2006年库姆塔格沙漠野外科学考察基础上，库姆塔格荒漠生态系统定位观测研究站（以下简称“库姆塔格站”），于2007年开始筹建，2009年正式批准加入国家林业局（现“国家林业和草原局”）陆地生态系统长期观测研究站网，2015年入选“荒漠化监测和沙尘暴预警观测站”，2018年被评为国家林业和草原局优秀生态站。

库姆塔格站是国家林业局批准建设的第一个极端干旱区荒漠生态系统定位观测研究站，现隶属于中国林业科学研究院荒漠化研究所。该站也是第一座跨省区、跨流域的综合性野外科学观测研究站，主站址位于东经94.02°、北纬39.97°，设置的观测研究区面积约100 000 km^2，涵盖库姆塔格沙漠全域约24 000 km^2，涉及甘肃、新疆、青海3省区，正、副站点分建在敦煌市、阿尔金山东段的阿克塞哈萨克族自治县和祁连山西段的甘肃肃北蒙古族自治县。目前，库姆塔格站已经成为我国北方防沙治沙带与“丝绸之路经济带”生态保护和建设的“桥头堡”和“显示器”。

1 主要研究方向

库姆塔格站地处内蒙古高原与青藏高原交汇带，具有复杂多变的本底生境、丰富的生物多样性和敏感的环境响应等区域特色。该站注重机理研究与技术应用示范相结合，为气候变化背景下极干旱区生态系统（尤其是绿洲生态系统）的保护、管理与可持续发展提供了一个共享研究平台和技术示范窗口。主要研究方向如下：

（1）极干旱区水文循环过程及水资源利用与动态演化；

（2）极干旱区生态系统结构、功能、过程与驱动机制；

（3）极干旱区典型、珍稀、濒危动植物种群逆境生存适应策略；

（4）极干旱区风沙过程、危害及防沙治沙技术的开发、集成与应用示范；

（5）旱地可持续发展与荒漠生态系统管理。

2 研究成果与科学贡献

库姆塔格站以服务区域生态系统保护与修复、支撑区域经济可持续发展，以及填补极干旱区调查研究与长期野外生态观测空白为目标，在区域发展规划、综合科学考察和干旱区风沙防护等领域获得了突破性进展。建站以来累计发表论文200多篇，出版专著9部，制定、修订国家标准8项，授权专利6项，获省部级科技奖励6项。

(1) 完成了“大敦煌生态保护与区域发展战略”区域发展规划。敦煌及周边地区作为世界自然与文化遗产的重要组成部分，其经济、政治、社会、文化战略地位突出。20世纪90年代，敦煌生态环境急剧恶化，引起我国政府的高度重视。2010年，中国林业科学研究院联合中国科学院地理科学与资源研究所、南京大学等单位，开展“大敦煌生态保护与区域发展战略”研究。通过对敦煌及周边区域的史料、地理、生态、植物、水文、气候、经济、文化、社会等大量数据的整理挖掘，以及库姆塔格站长期观测数据分析，围绕影响敦煌及其周边人类经济社会活动与自然生态之间相互作用的关系，研究生态经济结构、功能、规律、平衡、生产力及生态保护、经济发展、社会稳定与历史文化遗产保护等相关问题，提出“大敦煌生态保护与区域发展战略”区域发展规划，在促成甘肃省“大敦煌文化旅游经济圈建设”战略发展规划实施中发挥了作用。

(2) 填补了区域综合科学考察空白。库姆塔格沙漠和西北戈壁是我国综合科学考察的空白区。库姆塔格站联合国内18家知名科研院所与高校，共同完成了库姆塔格沙漠和中国黑戈壁综合科学考察，科考内容全面涵盖区域地质构造、历史演化、地理地貌、气候、水文、土壤、植被、动物、经济、社会、文化等领域。在考察的基础上，进行了数据的分析和整理，构建了第一个库姆塔格沙漠基础科学数据库（群），编撰出版了《库姆塔格沙漠研究》《库姆塔格沙漠综合自然地理图集》《库姆塔格沙漠风沙地貌》《库姆塔格沙漠地貌图》《中国黑戈壁研究》和《中国戈壁分布图》等专著和图件。对揭示西北干旱区气候与环境演变、青藏高原隆升与全球气候变化的关系，探讨库姆塔格沙漠、中国西北戈壁区的发展对策，以及促进国内外在沙漠与戈壁考察、荒漠化防治、干旱区生态保护与修复等领域的交流合作，产生了深远的影响。

(3) 建立了低覆盖度治沙的技术体系。为了构建长期高效的风沙防护林体系，基于库姆塔格等多个生态站长期定位观测数据，对不同气候区风沙物理过程与防风固沙机制、土壤水分平衡与生态系统演替等机理问题的分析和研究。研发了15%—25%植被覆盖度有效固定流沙的治沙技术，基本解决了干旱区人工中幼龄林衰败死亡的问题。修订了国家标准《造林技术规程》（GB/T 15776-2016）中干旱区造林与验收密度标准：把干旱区“1个造林、验收密度”变更为半干旱区、干旱区和极端干旱区“3个造林密度”表，确保造林密度降低40%—60%、造林成本降低30%—60%的同时，防护林防风固沙能力基本保持稳定。该技术已在内蒙古、甘肃、辽宁等地累计推广面积超过45 000 km^2，年新增经济效益合计354.65亿元。

3 人才队伍建设

库姆塔格站有固定人员27人，其中具有博士学位19人，高级职称20人，中级职称5人。有国内外院士、知名专家共同组成的学术委员会，有“国家百千万人才工程”人才、中国林业科学研究院“杰出青年”共同带领的创新研究团队。已培养博士后2名，博士研究生18名，硕士研究生6名。

4 科研能力与技术平台

(1) 建成了库姆塔格沙漠周边区域水文监测网，

填补了极端干旱区水文站网空白。获得2007—2019年连续降水、水位和流量数据1.9 GB。完成库姆塔格沙漠周边区域水文特征和水资源分析，为敦煌西湖湿地补水和敦煌供水提供了主要水文资料。完整记录沙漠堰塞湖3—5年的形成消亡过程。定量计算出通过沟谷向库姆塔格沙漠输送的沙物质量。为我国极端干旱区沙漠水文、河道演化以及对生态环境的影响、动植物生境保护和山洪灾害防治提供了科技支撑。

（2）仪器设备和生活服务设施齐全。库姆塔格站拥有野外观测仪器132套、实验室分析仪器23套。野外观测仪器包括风沙、气象、水文、土壤、植物、动物等观测设备。联合区域内自然保护区、林业、水务等部门，初步建成15个1 km^2大型野外固定观测研究基地（场站），形成了区域综合观测网络。可使用房屋面积超过3 000 m^2，主站及各监测基地水、电、通信与交通工具等齐全；能够同时满足100人以上的工作、生活需求。

5 开放与交流

库姆塔格站是一个面向科研、生产的开放-共享-示范平台。建站以来先后吸引国内外18个单位的科研人员来站开展干旱区成土过程、风沙过程、水文过程、生态过程及绿洲可持续经营等方面的合作研究；先后组织、参与承办了第十二届国际生态学大会、第四届世界人工林大会“三北”防护林平行会议、“一带一路”生态治理民间合作国际论坛等大型会议。同时，与地方单位合作，建设了敦煌绿洲保护与修复示范基地、国家沙漠公园、国家沙化土地封禁保护区等多个示范窗口。

附录3：内蒙古磴口荒漠生态系统定位观测研究站

内蒙古磴口荒漠生态系统定位观测研究站（以下简称“磴口站”）始建于1982年，前身为“六五”“七五”国家重点科技（攻关）项目“‘三北’防护林营造技术”的3个地面气象站，2006年形成“一站四点联测”布局，隶属中国林业科学研究院沙漠林业实验中心。2003年加入国家林业局沙尘暴预警监测网络台站；2012年加入中国陆地生态系统研究网络（CTERN），同年晋升为国家林业局野外观测研究站。

建站以来，磴口站面向我国防沙治沙、绿洲防护林建设及生态恢复等重大需求，开展了系统、长期的定位监测、试验研究及集成示范，取得了一系列重要成果。其中，“沙棘遗传改良研究”于1998年获国家科技进步奖一等奖，“范围绿化工程对环境质量作用的研究”于1991年获林业部科技进步奖一等奖。在2018年科学技术部和财政部开展的“中央级高等学校和科研院所等单位重大科研基础设施和大型科研仪器开放共享评价考核”综合评估中，获得“良好观测平台”；在2019年国家林业和草原局组织的国家野外观测研究站综合评估中，获得“优秀野外观测站”。磴口站是我国林业科学研究无可替代的野外支撑平台和沙漠科学研究基地。

1 主要研究方向

持续稳定开展乌兰布和沙漠生态系统的自然演替及其人为干预下的变化规律、沙化土地综合治理、荒漠化监测、沙旱生种质资源保存及沙区资源高效利用、绿洲可持续经营等研究，及时将科技成果转化为实践应用，为沙区林业生态建设提供科技支撑与技术服务，主要研究方向如下：

（1）乌兰布和沙漠生态保护与治理开发的技术与模式；

（2）沙漠-人工绿洲生态系统可持续发展和绿洲

生态经济稳定性；

（3）基于生态安全的乌兰布和沙漠与人工绿洲土地利用结构优化；

（4）荒漠生态系统对全球变化的响应与适应对策；

（5）磴口县国家重点生态工程区的环境监测和效益评价。

2 研究成果与科学贡献

磴口站共发表各类研究论文503篇，其中在*Global Ecology and Conservation*、*Plant and Soil*、*Plant Ecology*、*Land Degradation & Development*等SCI期刊上发表研究论文13篇，获得国家级和省部级奖励共计12项（次），其中国家科技进步奖一等奖1项。取得的重大原创性基础研究成果包括4个方面。

（1）建成面积1 486.6 hm^2的试验区，开展大范围绿化工程对环境质量的影响研究。① 大范围绿化工程改善了环境质量，该工程使得短波辐射增加10%—20%，高温季（每年7月）蒸发量降低30%—40%，沙尘转移及大气降尘分别减少80%、48%，大气浑浊度降低35%[1]。该工程在改善环境条件的同时，取得了较大的经济效益，以1979年为基准年计，从每年每公顷4.29元上升到1 359.28元，增长了300倍。为该区域防护林建设、长期经营与可持续发展奠定理论基础，为评价“三北”防护林的生态效益提供了科学数据。② 磴口站的长期观测数据是“大范围内开展以防护林为主体的区域性人工生态系统对荒漠环境作用综合效益成效显著、在国内外尚属首次、居国际领先水平”等结论的重要佐证，并直接服务于该项重要成果。③ 磴口站绿洲防护林结构优化与功能提升技术，首创林带与林网区，防护林结构与防风效应的系列关系式，形成防护林结构优化与防风效应关联评价体系，并评选出最适合西北防护林的栽植树种。实现了由沙进人退到绿进沙退，建设了生态屏障阻止西沙东移。

（2）在磴口站近40年的荒漠生态系统水文、土壤、气象、生物等因子长期定位监测数据的基础上，评价了防护林生态效益、经济效益和社会效益，推动了防护林学的发展。

（3）依靠不同下垫面4座近地面沙尘观测系统，阐明了沙尘运移过程中输送规律及沙尘与气象因子之间的关系。

（4）服务于内蒙古林草的保护、建设和林业可持续发展。① 逐步建立了荒漠化综合治理、退化林地恢复、人工林经营、灌木林营造等多个试验示范区，受到了国家相关部门和内蒙古自治区各级政府的高度重视。取得的重要技术研发和试验示范成果包括：沙棘优良品种大面积良种化繁育、造林，种质资源收集、示范推广，选育出适合乌兰布和沙漠种植的少刺、果大、结实多、具有较高生态经济价值、应用前景广阔的新品种，有力推动沙棘在全国各地作出了巨大贡献。② 荒漠区“窄林带、小网格”农田防护林模式试验、研究与示范，为国家“三北”防护林建设、京津风沙源治理、沙化土地封禁保护、退耕还林还草等工程提供了重要的科技支撑。

3 人才培养与队伍建设

磴口站有固定人员25人，其中高级职称14人，包括研究员3人。培养研究生28名，其中硕士研究生8名，博士研究生20名。近年来，围绕以荒漠生态学为中心的相关领域，逐步建立了一支由“国家百千万人才工程”、青年基金获得者及一批勇于探索、热爱科研工作的青年学者组成的科研队伍。

4 科研能力与技术平台

磴口站所在区域属于中温带干旱大陆性季风气候区，是华北和西北的结合部，处在亚洲中部荒漠区和草原区的分界线上，也是干旱半干旱（荒漠/半荒

漠）地理学分界线。区域内主要地理单元有乌兰布和沙漠、黄河、河套平原、狼山、乌梁素海、荒漠草原等，是山水林田湖草一体化天然生态实验室。

磴口站建有标准气象观测场 3 个、近地面沙尘观测系统 4 座、人工绿洲示范林 4 处、专家公寓、实验室、样品室、标本室和学生与研究人员宿舍等 1 120 m^2。拥有野外观测仪器 128 套及实验室分析仪器 41 台。积累数据量达 3 TB。

拥有长期野外观测样地和实验平台总面积约 1 000 hm^2，包括综合观测场、流动沙丘观测场、沙棘种质资源林（38 hm^2）、霸王群落、四合木群落、白刺群落、沙冬青群落、梭梭群落、油蒿群落等长期监测样地，人工增水、干旱区灌木形态可塑性研究、唐古特白刺水分利用研究、灌丛沙堆水分运移、根茎型植物克隆繁殖策略研究、灌丛沙堆土壤呼吸等长期控制实验平台，以及半固定沙地草-灌-乔监测大样地及唐古特白刺灌丛监测大样地。逐步建成了集生态监测、科学研究与科技示范为一体的荒漠生态系统长期观测研究网络，能够为开展荒漠生态系统长期定位监测、荒漠生态系统结构与功能的关系和试验示范研究工作奠定坚实的基础。

5 开放与交流

磴口站正在加大国内外交流与合作力度，并积极探索多元化对外开放路径。每年来站交流、开展科研合作的科研院所及高校 10 余所，共培养研究生近 30 名。近 5 年来共接待省部级领导参与的考察团 8 个、地方政府考察团 12 个，参与地方事业单位举办的科普活动 3 次、北京小学生夏令营科普活动 1 次。磴口站广泛开展中外合作、联合培养、合作研究等多种形式的交流与合作，国际化趋势日益明显。目前，已有来自美国、加拿大、德国、以色列、瑞士、韩国、印度、巴基斯坦、蒙古国等国的 50 余位科学家先后到磴口站开展合作研究和科学考察。下一步期待与国外一些重要机构、平台形成实质合作关系。

■责任编辑：张帆

参考文献（双语版）

1 王涛, 赵哈林. 中国沙漠科学的五十年. 中国沙漠, 2005, 25(2): 145-165.

Wang T, Zhao H L. Fifty-year history of China desert science. Journal of Desert Research, 2005, 25(2): 145-165. (in Chinese)

2 包岩峰, 杨柳, 龙超, 等. 中国防沙治沙60年回顾与展望. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 144-150.

Bao Y F, Yang L, Long C, et al. Review of 60 years combating desertification in China and prospects on it. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(2): 144-150. (in Chinese)

3 国家林业和草原局. 国家林业科技创新体系建设规划纲要（2006—2020年）. [2006-09-12]. http://www.forestry.gov.cn/main/4818/content-796814.html.

National Forestry and Grassland Administration. Guidelines for construction of the national forestry science and technology innovation system (2006-2020). [2006-09-12]. http://www.forestry.gov.cn/main/4818/content-796814.html. (in Chinese)

4 国家林业局. 国家林业局陆地生态系统定位观测研究网络中长期发展规划（2008—2020年）. [2009-05-21]. https://www.doc88.com/p-5691012542911.html.

State Forestry Administration. Medium- and long-term development plan of the terrestrial ecosystem positioning observation and research network of the State Forestry Administration (2008-2020). [2009-05-21]. https://www.doc88.com/p-5691012542911.html. (in Chinese)

5 赵明, 詹科杰, 杨自辉, 等. 民勤沙漠-绿洲低空沙尘暴结构特征研究. 中国科学：地球科学, 2011, 41(2): 234-242.

Zhao M, Zhan K J, Yang Z H, et al. Structural characteristics of low-altitude sandstorm in desert and oasis in Minqin. Scientia Sinica (Terrae), 2011, 41(2): 234-242. (in Chinese)

6 Wang H Z, Han D, Mu Y, et al. Landscape-level vegetation classification and fractional woody and herbaceous vegetation cover estimation over the dryland ecosystems by unmanned aerial vehicle platform. Agricultural and Forest Meteorology, 2019, 278: 107665.

7 李永华. 白刺叶片性状对人工增水的响应. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.

Li Y H. Response of leaf traits of Nitraria tangutorum Bobr and Nitraria sphaerocarpa Maxim to increasing water. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2010. (in Chinese)

8 卢琦, 贾晓红. 荒漠生态学. 北京: 中国林业出版社, 2019.

Lu Q, Jia X H. Desert Ecology. Beijing: China Forestry Publishing House, 2019. (in Chinese)

9 卢琦, 王继和, 褚建民. 中国荒漠植物图鉴. 北京: 中国林业出版社, 2012.

Lu Q, Wang J H, Chu J M. Desert Plants in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2012. (in Chinese)

10 荒漠生态系统服务功能监测与评估技术研究项目组. 荒漠生态系统功能评估与服务价值研究（第二版）. 北京: 科学出版社, 2017.

Desert Ecosystem Service Monitoring and Evaluation Team. Function and Services Valuation of Desert Ecosystems (2nd Edition). Beijing: Science Press, 2017. (in Chinese)

11 库姆塔格沙漠综合科学考察队. 库姆塔格沙漠研究. 北京: 科学出版社, 2012.

Scientific Expedition Team of Kumtagh Desert. A Study of the Kumtag Desert. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese)

12 董治宝. 库姆塔格沙漠风沙地貌. 北京: 科学出版社, 2011.

Dong Z B. Aeolian Landform of Kumtagh Desert. Beijing: Science Press, 2011. (in Chinese)

13 中国黑戈壁地区生态本底科学考察队. 中国黑戈壁研究. 北京: 科学出版社, 2014.

Scientific Expedition Team of Ecological Background in Black Gobi of China. Research on the Black Gobi in China. Beijing: Science Press, 2014. (in Chinese)

14 冯益明, 卢琦. 中国戈壁分布图. 北京: 中国地图出版社, 2017.

Feng Y M, Lu Q. Distribution Map of Gobi Deserts in China. Beijing: SinoMaps Press, 2017. (in Chinese)

15 库姆塔格沙漠综合科学考察队. 库姆塔格沙漠综合自然地理图集. 北京: 中国地图出版社, 2017.

Scientific Expedition Team of Kumtagh Desert. Atlas of Integrated Physical Geography of Kumtag Desert. Beijing: SinoMaps Press, 2017. (in Chinese)

16 董治宝, 屈建军. 库姆塔格沙漠地貌图. 北京: 科学出版社, 2009.

Dong Z B, Qu J J. Geomorphic Map of the Kumtagh Desert. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese)

17 慈龙骏, 杨晓晖, 陈仲新. 未来气候变化对中国荒漠化的潜在影响. 地学前缘, 2002, 9(2): 44-51.

Ci L J, Yang X H, Chen Z X. The potential impacts of climate change scenarios on desertification in China. Earth Science Frontiers, 2002, 9(2): 287-294. (in Chinese)

18 董战峰. 为全球荒漠化治理贡献中国智慧. [2017-09-06]. http://www.rmzxb.com.cn/c/2017-09-06/1771122.shtml.

Dong Z F. Contribution of Chinese wisdom to global desertification control. [2017-09-06]. http://www.rmzxb.com.cn/c/2017-09-06/1771122.shtml. (in Chinese)

19 国家林业和草原局. 中国获得2017年“政策界奥斯卡奖”: 荒漠化治理引领全球. [2018-03-28]. http://www.forestry.gov.cn/zsb/989/20180328/1086820.html.

National Forestry and Grassland Administration. China won the “policy Oscar” in 2017: A global leader in the control of desertification. [2018-03-28]. http://www.forestry.gov.cn/zsb/989/20180328/1086820.html. (in Chinese)

20 崔向慧, 卢琦. 中国荒漠化防治标准化发展现状与展望. 干旱区研究, 2012, 29(5): 913-919.

Cui X H, Lu Q. Development status and prospect of standardized desertification combating in China. Arid Zone Research, 2012, 29(5): 913-919. (in Chinese)